饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能、血清激素和生化指标的影响

史晓雪[1] 牛占宇[1] 幸 超[1] 张三润[2] 闫婉姝[1] 张润厚[1]

（1.内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018；2.内蒙古医科大学基础教研部，呼和浩特 010110)

摘 要：本试验旨在研究饲粮中添加硬脂酰辅酶 A 去饱和酶（SCD）的抑制剂（梧桐子油）和促进剂（罗格列酮）对育肥绵羊生产性能以及与脂肪代谢相关血清激素和生化指标的影响。选用 18 只平均体重为（27.71±2.64） kg、体况相似的杂交公羊（美利奴羊♂×小尾寒羊♀）随机分为 3 组，每组 6 只。对照组（C 组）饲喂基础饲粮，梧桐子油组（W 组）饲喂基础饲粮+15 g/d 梧桐子油，罗格列酮组（L 组）饲喂基础饲粮+8 mg/d 罗格列酮。试验期 50 d，其中过渡期 10 d，预试期 5 d，正试期 35 d。结果表明：1）生产性能方面，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能、屠宰性能和产肉性能均无显著影响（$P>0.05$）；脂肪沉积方面，W 组的背膘厚比 C 组和 L 组分别提高了 12.55%和 17.23%（$P<0.05$）。2）血清激素指标方面，与 C 组相比，W 组血清生长激素（GH）、胰高血糖素（GC）和瘦素（LEP）含量均显著升高（$P<0.05$），L 组血清 GC 含量显著升高（$P<0.05$）；3）血清生化指标方面，与 C 组相比，W 组血清高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、总胆固醇（TC）和甘油三酯（TG）的含量均显著升高（$P<0.05$），L 组血清 TG 的含量显著高于 C 组（$P<0.05$）。综上所述，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能、屠宰性能和产肉性能等均无显著影响，但梧桐子油显著提高了绵羊的背膘厚度；饲粮中添加梧桐子油可以显著提高绵羊血清 GH、GC 和 LEP 含量，罗格列酮可以显著提高血清 GC 含量；饲粮中添加梧桐子油能显著提高绵羊血清 HDL-C、LDL-C、TC 和 TG 的含量，罗格列酮可显著提高血清 TG 的含量。

关键词：硬脂酰酶 A 去饱和酶；梧桐子油；罗格列酮；生产性能；血清指标;绵羊

中图分类号：S826

硬脂酰辅酶 A 去饱和酶（stearoyl-CoA desaturase，SCD）是反刍动物体内调节脂肪酸代谢、分泌的一种重要酶。SCD 位于内质网上，主要催化脂酰辅酶 A 在 Δ-9 位脱氢，其首选底物是棕榈酰辅酶 A 和硬脂酰辅酶 A，分别转化生成单不饱和脂肪酸棕榈酸和油酸，同样

可以将反-11 十八碳烯酸（trans-vaccenic acid,TVA）转化生成顺 9，反 11 共轭亚油酸（*c*9*t*11 CLA）[1-2]。有研究表明，奶牛乳脂中的共轭亚油酸（CLA）主要是由 TVA 通过 SCD 内源合成[3]，牛肉中 86%的 CLA 是由 TVA 经 SCD 脱氢生成的[4]。CLA 具有许多对人体有益的生物学功能，包括抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、预防糖尿病、增强机体免疫、促进骨骼发育与健康、降低机体脂肪含量、预防肥胖症等功能[5]。而反刍动物产品是人类膳食中最主要的 CLA 来源。目前，关于 CLA 的内源生成及体内脂肪代谢和转换机理的研究报道非常有限，以绵羊作为试验动物的研究还未见报道。因此，本研究以绵羊为试验对象，通过在饲粮中添加 SCD 的抑制剂梧桐子油和促进剂罗格列酮，来探讨它们对育肥绵羊生产性能和血清中与脂肪代谢相关的激素和生化指标的影响，以期为进一步研究 CLA 等功能性脂肪酸在绵羊体内的内源合成途径奠定理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

饲养试验于 2016 年 11 月至 2017 年 1 月在内蒙古土左旗内蒙古农业大学养殖基地进行。试验期间所用饲粮由优牧特公司提供。梧桐子油采用亚临界低温萃取法提取，购自陕西森弗天然制品有限公司（生产批号：SF-2016-10-13-4）。罗格列酮由成都恒瑞制药有限公司生产（生产批号：160902），购买于国大药房。

1.2　试验设计及饲粮

本试验采用完全随机组设计，选择 4 月龄左右、遗传背景和体况相似、平均体重为（27.71±2.64）kg 的健康公羊（美利奴羊♂×小尾寒羊♀）18 只，随机分成 3 组：对照组（C 组）、梧桐子油组（W 组）以及罗格列酮组（L 组），每组 6 只，实行单栏（2.0 m×1.2 m）饲养。3 组所对应的试验饲粮设计如下：1）C 组饲喂基础饲粮；2）W 组饲喂基础饲粮+15 g/d 梧桐子油；3）L 组饲喂基础饲粮+8 mg/d 罗格列酮。基础饲粮组成及营养水平见表 1。基础饲粮为颗粒料形式。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet （air-dry basis）　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	32.00
玉米胚芽粕 Corn germ meal	8.00

葵花壳 Sunflower shell	16.00
羊草 *Leymus chinensis*	24.00
干酒糟及其可溶物 DDGS	5.00
豆粕 Soybean meal	8.00
麸皮 Wheat bran	2.50
预混料 Premix[1)]	2.00
石粉 Limestone	1.40
食盐 NaCl	0.60
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.50
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.23
粗蛋白质 CP	13.26
粗脂肪 EE	5.82
中性洗涤纤维 NDF	34.23
酸性洗涤纤维 ADF	18.90
钙 Ca	1.19
磷 P	0.41

[1)]预混料为每千克饲粮中提供 The premix provided the following per kg of the diets:I(as potassium iodide)55 mg,Mn(as manganese sulfate)1 750 mg,Co(as cobalt chloride)25 mg,Se(as sodium selenite)22.5 mg,Fe (as ferrous sulfate)3 000 mg,Zn (as zinc sulfate)2 000 mg,VA 400 000 IU,VD 30 000 IU,VE 3 000 IU。

[2)]粗蛋白质为实测值，其他均为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 饲养管理

试验开始前对羊舍、周边环境及试验用具进行严格消毒。所有试验羊在试验开始前统一进行驱虫、注射疫苗。试验羊每天 07：00 和 17：00 饲喂育肥料，自由饮水。试验期为 50 d，包括过渡期 10 d，预试期 5 d，正试期 35 d。W 组的梧桐子油与饲粮充分混匀后进行饲喂；L 组的罗格列酮于饲喂前进行投放（口服）。

1.4 样品采集及处理

正试期开始后每天准确测定每只试验羊的采食量；在正试期开始第 1 天晨饲前对所有试验羊进行统一称重，并记录；正试期结束当天早晨，对空腹绵羊进行采血，用于血清中脂肪代谢相关激素及生化指标的测定；正试期结束第 1 天早晨对所有试验羊进行称重，并记录为试验末体重。随后进行屠宰，宰杀放血后，去头、蹄及睾丸，剥离皮毛，去内脏（保留肾脏及肾周脂肪）后称胴体重，并测定其屠宰性能和产肉性能。

1.5 测定指标及方法

1.5.1　生产性能

测定干物质采食量（DMI）、总增重、平均日增重（ADG），计算料重比（FGR）。DMI、总增重、ADG 和 FGR 的计算公式如下：

DMI=正试期干物质采食总和/35；

总增重=末体重－初体重；

ADG=总增重/35；

FGR=DMI/ADG。

1.5.2　屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积

测定各试验羊的宰前活重和胴体重，计算屠宰率。背膘厚是指位于胴体第 12 根和第 13 根肋骨间距脊椎中轴线 11 cm 处的脂肪组织厚度，用数显游标卡尺测定；GR 值是指位于胴体第 12 根和第 13 根肋骨间距脊椎中轴线 11 cm 处的全部组织厚度，用数显游标卡尺测定；眼肌面积是指位于胴体第 12 根和第 13 根肋骨间背最长肌的横断面面积值，屠宰时用硫酸绘图纸描绘出眼肌横切面的轮廓。

1.5.3　血清激素和生化指标

血清中激素指标包括生长激素（GH）、胰岛素（INS）、瘦素（LEP）和胰高血糖素（GC）含量。血清生化指标包括葡萄糖（GLU）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、甘油三酯（TG）和总胆固醇（TC）含量。其中 GLU 含量采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定，其他指标均采用苏州卡尔文生物科技有限公司的酶联免疫吸附试验（ELISA）试剂盒进行测定，操作程序严格按照试剂盒要求进行。

1.6　数据分析

试验数据经 Excel 2003 初步整理后，采用 SAS 9.1 统计软件中 one-way ANOVA 进行方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行。$P<0.05$ 作为差异显著性的判断标准。

2　结果与分析

2.1　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响

饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响见表 2。由表可知，在生产性能方面，各试验羊的初体重、末体重、ADG 和 DMI 4 个指标各组间差异不显著（$P>0.05$），但总体上 W 组绵羊的初体重、末体重、ADG 和 DMI 在数值上均高于 C 组和 L 组；此外，

与 C 组相比，W 组和 L 组绵羊的 FGR 有所升高，但未达到显著水平（P>0.05）。总体而言，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响不显著，W 组和 L 组有降低饲料报酬的趋势。

表 2　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响

Table 2　Effects of sycamore seed oil and rosiglitazone on production performance of sheep

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值
	C	W	L		P-value
初体重 IBW/kg	27.85	27.90	27.37	1.18	0.939 6
末体重 FBW/kg	40.38	40.97	38.77	1.70	0.645 8
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.36	0.37	0.33	0.02	0.384 8
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.53	1.75	1.65	0.08	0.170 6
料重比 Feed to gain ratio	4.48	4.72	4.98	0.14	0.067 0

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，肩标相同或不标注者表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积的影响

饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积的影响见表 3。由表可知，屠宰性能方面，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊宰前活重、胴体重和屠宰率均无显著影响（P>0.05）；产肉性能方面，与 C 组相比，2 个试验组中 GR 值和眼肌面积指标差异均未达到显著水平（P>0.05），但 L 组中的 GR 值和眼肌面积与另 2 组相比有所降低；脂肪沉积方面，W 组的背膘厚比 C 组和 L 组分别提高了 12.55%和 17.23%（P<0.05），与 C 组相比，L 组中背膘厚有所降低，但差异不显著（P>0.05）。综上所述，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能的影响不大，但饲粮中添加梧桐子油提高了绵羊局部脂肪沉积，而饲粮中添加罗格列酮有降低绵羊产肉性能和脂肪沉积的趋势。

表 3　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积的影响

Table 3　Effects of sycamore seed oil and rosiglitazone on slaughter performance, meat productivity and adipose deposition of sheep

项目	组别 Groups			SEM	P 值
Items	C	W	L		P-value
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	35.27	37.27	35.73	1.30	0.674 2
胴体重 Carcass weight/kg	18.65	19.58	18.12	0.75	0.398 5

屠宰率 Dressing percentage/%	51.84	52.51	50.68	0.59	0.116 4
GR 值 GR value/mm	11.72	12.80	11.01	0.55	0.098 4
背膘厚 Backfat thichness/mm	5.50[b]	6.19[a]	5.28[b]	0.22	0.027 7
眼肌面积 Muscular apparatus area/cm²	15.35	14.64	13.80	0.82	0.427 1

2.3 饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清中激素及生化指标的影响

饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清激素及生化指标的影响见表 4。由表可知，血清激素指标方面，与 C 组相比，W 组血清 GH、GC 和 LEP 含量均显著升高（P<0.05），血清 INS 含量无显著变化（P>0.05），但在数值上有所降低，L 组血清 GH 和 LEP 含量有所升高，血清 INS 含量有所降低，但均未达到显著水平（P>0.05），血清 GC 含量显著升高（P<0.05）；血清生化指标方面，与 C 组相比，W 组和 L 组血清 GLU 的含量各降低了 12.29% 和 10.08%，但差异均未达到显著水平（P>0.05），W 组血清 HDL-C、LDL-C、TC 和 TG 的含量均显著高于 C 组和 L 组（P<0.01），L 组血清中 HDL-C、LDL-C、TC 和 TG 的含量均高于 C 组，其中 TG 的含量显著高于 C 组（P<0.05），其他指标差异均未达到显著水平（P>0.05）。综上所述，在血清激素方面，饲粮中添加梧桐子油能提高 GH、GC 和 LEP 含量，对 INS 无太大影响，饲粮中添加罗格列酮能显著提高 GC 含量，对其他激素无显著性影响；在血清生化指标方面，饲粮中添加梧桐子油可以提高 HDL-C、LDL-C、TC 和 TG 的含量，对 GLU 含量无显著性影响，饲粮中添加罗格列酮可以提高 TG 的含量，对其他指标无显著性影响。

表 4 饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清中激素及生化指标的影响

Table 4 Effects of sycamore seed oil and rosiglitazone on serum hormone and biochemical indexes of sheep

项目 Items	组别 Groups C	W	L	SEM	P 值 P-value
生长激素 GH/(ng/mL)	13.41[b]	24.10[a]	15.24[b]	0.72	<0.000 1
胰岛素 INS/(μIU/mL)	53.87	47.51	43.49	6.53	0.541 6
胰高血糖素 GC/(pg/mL)	362.20[b]	425.40[a]	435.80[a]	15.73	0.009 7
瘦素 LEP/(ng/mL)	14.96[b]	34.61[a]	19.58[b]	2.10	<0.000 1
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.96	4.35	4.46	0.24	0.188 7
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mg/dL)	162.50[b]	347.30[a]	200.99[b]	17.50	<0.000 1
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	7.41[b]	13.10[a]	8.22[b]	0.78	0.000 2
总胆固醇 TC/(mmol/L)	8.25[b]	12.12[a]	8.78[b]	0.76	0.005 5
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.49[c]	2.90[a]	2.28[b]	0.16	<0.000 1

3 讨 论

3.1 绵羊饲粮中梧桐子油和罗格列酮添加量的确定

CLA 存在于动物的肉制品及奶制品、海产品和植物性食品中，但它的含量和生物活性存在着较大的差异。具有较高生物活性的 CLA 主要来源于反刍动物产品中，且 75%以上的是 *c*9*t*11CLA[6]。由于 CLA 具有抗癌、抗动脉硬化、增强机体免疫力、减缓免疫系统副反应、预防肥胖病、改善肉品质和调节代谢等许多生理功能。所以，目前关于 CLA 的合成、来源以及如何提高动物产品中 CLA 的含量的研究备受关注。在反刍动物组织中 CLA 内源合成的重要底物是 TVA。有研究表明，当反刍动物采食了富含亚麻酸的饲料时，亚麻酸进入瘤胃经过生物加氢作用产生中间体 TVA，然后经乳腺等组织中的 SCD 去饱和后形成 CLA，且研究结果显示，78%的 CLA 是由 TVA 经 SCD 的脱氢去饱和作用合成的[7]。因此，本试验在绵羊的基础饲粮中添加精料含量 8%的胡麻籽，就是为了增加内源合成 CLA 的前体物 TVA 的含量。

本试验选用梧桐子油作为 SCD 的活性抑制剂。有研究表明，梧桐子油中含有大量不饱和脂肪酸，其中主要包含 22.23%的油酸、30.16%的亚油酸和 23.22%的苹婆酸[8]。研究报道，SCD1 的活性和基因表达会受到饲粮中脂肪酸组成和饱和度的影响，饲粮中的饱和脂肪酸含量对组织中 SCD1 的活性具有升高的作用，而多不饱和脂肪酸（PUFA）则相反，对其活性具有抑制作用[7]。Kay 等[9]曾将富含苹婆酸的苹婆油作为 SCD 的活性抑制剂在奶牛饲养试验中运用，并得到较好的抑制效果。Griinari 等[3]通过给产后 200 d 左右的泌乳奶牛真胃灌注 10 g/d 苹婆油，分析发现奶牛乳脂中的 CLA 主要是由 TVA 通过 SCD 内源合成的。由于苹婆油和梧桐子油中苹婆酸的含量接近，所以本试验用梧桐子油代替苹婆油，按绵羊体重计算应真胃灌注 1.5 g/d 的梧桐子油，由于本试验采用直接饲喂法，考虑到 PUFA 在瘤胃内的氢化可达到 90%左右，因此本试验在绵羊饲粮中添加 15 g/d 富含苹婆酸的梧桐子油进行饲养试验。本试验选用罗格列酮作为 SCD 的活性促进剂，由于罗格列酮是噻唑烷二酮类 INS 增敏剂药物，能明显增强靶组织对 INS 的敏感性，具有抗 INS 抵抗的作用。INS 是 *SCD* 基因转录高效促进剂，该激素对 SCD 的影响已在小鼠、牛、鸡、人的体内和体外试验中得到了证实[10]。有报道指出，给患有 II 型糖尿病患者服用 8 mg/d 罗格列酮后，可以增加 SCD 的活性和基因表达[11]。为了不影响绵羊的健康状况，本试验在绵羊饲粮中添加 8 mg/d 罗格列酮进行饲养试验。

3.2　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响

绵羊饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮的研究表明，梧桐子油和罗格列酮对绵羊的初体重、末体重、ADG 和 DMI 生产性能指标无显著影响。其中梧桐子油添加组与前人的研究结果基本一致。有研究表明，在山羊饲粮中添加豆油或葵花油对 DMI 无显著影响，可能是由于各试验组饲粮的代谢能水平基本相同[12]。赵天章[13]在巴美肉羊饲粮中添加 2.4%的鱼油、葵花油或二者混合油脂，结果显示对巴美肉羊的生产性能指标无显著影响。Ferreira 等[14]在育肥绵羊饲粮中添加鱼油或鱼油与豆油的混合油脂对其 DMI、ADG 和末体重均无显著影响。本试验在育肥绵羊饲粮中添加梧桐子油虽然对其生产性能各指标的影响不大，但在数值上与 C 组相比，W 组有所提高，有可能是因为梧桐子油增加了饲料的适口性，使其采食量增加而导致的结果。罗格列酮作为 INS 增敏剂药物添加在绵羊的饲粮中，对其生产性能指标无显著影响，但降低了饲料报酬，可能是由于罗格列酮降低了绵羊的血清 GLU 含量，从而导致 GC 分泌增加，进而促进脂肪的分解所致。目前，还未见到在绵羊饲粮中添加罗格列酮的相关报道。

3.3　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积的影响

本研究表明，梧桐子油和罗格列酮对绵羊屠宰性能和产肉性能的影响不大。有研究表明，在巴美肉羊饲粮中添加 2.4%的油脂对其屠宰性能的影响不大，但显著提高了其胴体产肉性能和局部脂肪沉积，在脂肪沉积上主要表现为腹部脂肪沉积量和背膘厚的增加[13]。Awawdeh 等[15]在育肥绵羊饲粮中添加 3.2%的豆油或食物残渣提炼的黄油能显著提高育肥绵羊的胴体重，增加其胴体 GR 值和背膘厚。本试验中，添加梧桐子油对绵羊的屠宰性能和产肉性能的影响不显著，W 组的背膘厚比 C 组和 L 组显著提高。此外，本试验饲粮中添加罗格列酮，与 C 组相比，屠宰性能、产肉性能和脂肪沉积无显著变化，但存在降低趋势，可能是由于罗格列酮增加了机体对 INS 的敏感性所致。

3.4　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清激素及生化指标的影响

3.4.1　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清激素指标的影响

动物体脂肪的沉积量是脂肪合成代谢与分解代谢的一种平衡状态，同时，脂肪的代谢受到激素的间接调控。GH 是由脑垂体前叶分泌的一种蛋白质激素，它是调节动物生长发育以及控制糖、蛋白质和脂肪三大营养物质的代谢和贮存过程中的一个重要内分泌因子。INS 是由胰岛 β 细胞分泌的一种重要的能量代谢激素，INS 有促进脂肪、蛋白质以及糖原合成的作

用。GC 是由胰岛 α 细胞分泌的一种能量代谢激素，与 INS 作用相反，能促进分解代谢，GC 有促进肝糖原分解和糖异生的作用，且还可以激活脂肪酶，进而促进脂肪的分解。LEP 是由肥胖基因编码的蛋白激素类脂肪细胞因子，主要由机体白色脂肪组织分泌，其生理功能是通过与广泛分布于丘脑、神经、心脏、脂肪组织和胰岛等细胞表面的受体结合，从而调节机体能量代谢和减少体脂沉积[16]。本试验结果表明，饲粮中添加梧桐子油显著提高了绵羊血清中 GH、GC 和 LEP 含量，可能是由于绵羊长期采食含不饱和脂肪酸较高的梧桐子油导致 W 组绵羊血脂升高，从而刺激 GH、GC 和 LEP 的分泌，进而促进脂肪的分解。饲粮中添加梧桐子油对绵羊血清中 INS 含量的影响不显著，但有降低的趋势，可能是由于 INS 与 GC 和 GH 的拮抗作用，当机体处于饥饿状态时，INS 分泌减少，GH 和 GC 分泌增加，血清中 GH 含量的升高使机体对 GLU 的利用减少，并对脂肪的利用增加；当机体处于饥饿并伴随血清 GLU 含量降低，GC 的分泌量增加，此时肝脏释放出大量的 GLU 进入血液，从而避免了动物低血糖症的发生。本试验中，饲粮添加罗格列酮对绵羊血清中 GH、INS 和 LEP 含量无显著影响，但绵羊血清中 GC 含量显著升高。这一结果表明，罗格列酮增加了绵羊机体对 INS 的敏感性，从而刺激 GC 的分泌来维持机体的血清 GLU 平衡。

3.4.2　饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊血清生化指标的影响

血清生化指标与动物的营养状况密切相关，能反映动物的生理代谢状态，生化指标的变化可以阐明营养物质在机体代谢变化的作用机制。血清 GLU 含量是衡量动物机体内能量是否平衡的重要指标。血清 GLU 含量在肝脏的调节下基本恒定，过高或过低都会对机体产生不利影响。相关研究表明，动物血清中 GLU 的含量不应超过 6.1 mmol/L，正常范围内生产性能越高，GLU 含量也相应升高[17]。对反刍动物而言，当血清 GLU 含量高于正常值 2~3 倍时，常预示有瘤胃酸中毒等疾病的发生；反之，当低至正常值的 1/2 左右时，常表明动物有饥饿、营养缺乏、酮病等的存在[18]。本试验中各组 GLU 含量均在正常范围内，饲粮中添加梧桐子油对绵羊血清中 GLU 含量没有显著影响，这与张宇宏[19]和 Abdullah 等[20]的报道结果一致。饲粮中添加罗格列酮后对绵羊血清中 GLU 含量也没有显著影响，这说明罗格列酮的添加量对绵羊的正常代谢没有产生不利影响。TG 是机体重要的供能物质，也是机体主要的储能物质[21]。有研究表明，饲粮中添加油料籽实能显著提高绵羊血清中 TG 的含量[19]，这与本试验结果相一致，本试验结果显示，饲粮中添加梧桐子油能显著提高绵羊血清中 TG

的含量，可能是由于梧桐子油中不饱和脂肪酸的含量较高所致。有研究表明，给Ⅱ型糖尿病患者服用罗格列酮后，血清中 TG 的含量显著降低[22]。但本试验结果表明，在绵羊饲粮中添加罗格列酮对血清中 TG 的含量有显著的提高作用，原因可能是饲粮中添加罗格列酮影响了机体与脂肪代谢相关因子的产生，因此，TG 在血液中的含量与罗格列酮的关系仍然需要进一步研究。HDL-C 是人体一种重要的血浆脂蛋白，参与胆固醇的逆向转运，是机体从肝脏外组织逆向转运胆固醇回肝脏的主要形式，它主要由含载脂蛋白和游离胆固醇的磷脂双层构成。HDL-C 是胆汁脂蛋白胆固醇的主要来源，而这是机体处理胆固醇最重要的通路，由此进一步表明了 HDL-C 对于体内胆固醇平衡的重要意义[23]。LDL-C 是将肝脏合成的胆固醇转运到全身组织的主要形式。TC 是指血液中所有脂蛋白所含胆固醇的总和，包括游离胆固醇和胆固醇酯，主要在肝脏中合成和贮存，胆固醇是合成肾上腺皮质激素、性激素、胆汁酸及维生素 D 等生理活性物质的重要原料，也是构成细胞膜的主要成分，血清 TC 含量可作为脂肪代谢的指标。本研究发现，与 C 组相比，饲粮中添加梧桐子油能显著提高绵羊血清中 TC、HDL-C 和 LDL-C 的含量，这一结果与刘立成[24]和卜登攀[25]的报道相一致，可能是由于梧桐子油中含有亚油酸，使血清中 TG 和 TC 增加，即血脂增高，从而刺激血清中 HDL-C 和 LDL-C 相应的增加。本试验结果显示，饲粮中添加罗格列酮对绵羊血清中 HDL-C、LDL-C 和 TC 的含量有升高趋势，但差异不显著。

综上所述，饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮在不影响生产性能的前提下，对血清激素及生化指标产生一定的影响，在此基础上研究其对 CLA 含量的影响，以此来佐证 CLA 在组织内含量不同的原因，并对 CLA 内源生成途径提供指导思路。

4 结 论

① 饲粮中添加梧桐子油对绵羊生产性能、屠宰性能和产肉性能等均无显著影响，但可提高绵羊的背膘厚；而罗格列酮对绵羊的生产性能各指标均无显著影响。

② 饲粮中添加梧桐子油可以显著提高绵羊血清 GH、GC 和 LEP 含量；罗格列酮可以显著提高绵羊血清 GC 含量。

③ 饲粮中添加梧桐子油能显著提高绵羊血清 HDL-C、LDL-C、TC 和 TG 含量；罗格列酮可显著提高绵羊血清 TG 的含量。

参考文献：

[1] BERNARD L,LEROUX C,HAYES H,et al.Characterization of caprine stearoyl-CoA desaturase gene and its mRNA showing an unusually long 3'-UTR sequence arising from a single exon[J].Gene,2001,281(1/2):53–61.

[2] 韩正强.半胱胺和海南霉素对山羊肌内共轭亚油酸含量与脂肪酸组成的影响及其机理研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2006.

[3] GRIINARI J M,CORL B A,LACY S H,et al.Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Δ9-desaturase[J].Journal of Nutrition,2000,130(9):2285–2291.

[4] GILLIS M H,DUCKETT S K,SACKMANN J R.Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle[J].Journal of Animal Science,2004,82(5):1419–1427.

[5] 张三润,汤灵姿,张润厚.共轭亚油酸及其生物学功能研究进展[J].综述与专论,2014,34(6):52–55.

[6] PARIIZA M W,PARK Y,COOK M E.The biologically active isomers of conjugated linoleic acid[J].Progress in Lipid Research,2001,40(4):283–298.

[7] 陈娜.补饲亚麻籽对延边黄牛肌内共轭脂肪酸构成及其相关基因表达的影响[D].硕士学位论文.延吉:延边大学,2015.

[8] 李旭雷.梧桐子油的提取、成分分析及梧桐子油脂肪酸制备的研究[D].硕士学位论文.郑州:河南工业大学,2016.

[9] KAY J K,MACKLE T R,AUDIST M J,et al.Endogenous synthesis and enhancement of conjugated linolieic acid in pasture-fed dairy cows[J].Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production,2002,62:12–15.

[10] 张蕊,张宜辉,邵丹,等.硬脂酰辅酶 A 去饱和酶基因的功能与调控[J].生命科学,2013,25(4):378–382.

[11] RISÉRUS U,TAN G D,FIELDING B A,et al.Rosiglitazone increases indexes of stearoyl-CoA desaturase activity in humans:link to insulin sensitization and the role of dominant-negative mutation in peroxisome proliferator-activated

receptor-gamma[J].Diabetes,2005,54(5):1379–1384.
[12] ROY A,MANDAL G P,PATRA A K.Evaluating the performance,carcass traits and conjugated linoleic acid content in muscle and adipose tissues of Black Bengal goats fed soybean oil and sunflower oil[J].Animal Feed Science and Technology,2013,185(1/2):43–52.
[13] 赵天章.日粮油脂类型对羊肉脂肪酸和肌内脂肪含量的影响及其机理[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2014.
[14] FERREIRA E M,PIRES A V,SUSIN I,et al.Growth,feed intake,carcass characteristics,and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend[J].Animal Feed Science and Technology,2014,187:9–18.
[15] AWAWDEH M S,OBEIDAT B S,ABDULLAH A Y,et al.Effects of yellow grease or soybean oil on performance,nutrient digestibility and carcass characteristics of finishing Awassi lambs[J].Animal Feed Science and Technology,2009,153(3/4):216–227.
[16] LISSETT C A,CLAYTON P E,SHALET S M.The acute leptin response to GH[J].Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,2001,86(9):4412–4415.
[17] 李建国,孙凤莉,李英,等.代乳粉对羔羊生产性能及血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2006,18(1):37–42.
[18] 王志,肖定汉.奶牛饲养管理与营养代谢性疾病[M].北京:北京农业大学出版社,1989.
[19] 张宇宏.沙葱和油料籽实对绵羊血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.
[20] ABDULLAH M,YOUNG J W.高粗料日粮中添加脂肪对奶牛血液代谢产物、瘤胃发酵和干物质消化率影响的研究[J].赵海珍,孙瑞芳,译.中国奶牛,2001(4):21–24.
[21] 郑建仙.功能性食品(第三卷)[M].北京:中国轻工业出版社,1989:393–422.
[22] 刘保东.罗格列酮对 2 型糖尿病患者血液生化指标的影响[J].临床医药实践,2011,20(7):508–510.
[23] 陈近利.高密度脂蛋白(HDL)研究进展[J].中国运动医学杂志,2002,21(2):186–190.
[24] 刘立成.不饱和脂肪酸及莫能菌素对羊瘤胃、血液脂肪酸合成的影响[D].博士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2009.

[25] 卜登攀.日粮不饱和脂肪酸对乳脂共轭亚油酸合成的影响及其机理[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2006.

Effects of Dietary Supplementation of Sycamore Seed Oil and Rosiglitazone on Production Performance, Serum Hormone and Biochemical Indexes of Sheep[2]

SHI Xiaoxue[1] NIU Zhanyu[1] XING Chao[1] ZHANG Sanrun[2] YAN Wanshu[1] ZHANG Runhou[1*]

(1. *College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China;* 2. *Department of Basic Education, Inner Mongolia Medical University, Hohhot* 010110, *China*)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of dietary supplementation of SCD inhibitor (sycamore seed oil) and accelerator (rosiglitazone) on production performance, serum hormone and biochemical indexes relevant to lipid metabolism of fattening sheep. Eighteen crossbreed ram (Merino sheep♂×thin-tail *Han* sheep♀), similar in body weight [(27.71±2.64) kg] and body condition, were randomly divided into 3 groups with 6 sheep per group. Sheep in control group (C group) were fed a basal diet; those in sycamore seed oil group (W group) were fed the basal diet supplemented with 15 g/d sycamore seed oil; those in rosiglitazone group (L group) were fed the basal diet supplemented with 8 mg/d rosiglitazone. The trial period lasted for 50 d consisting 10 d of transition period, 5 d of pre-trial period and 35 d of trial period. The results showed as follows: 1) about production performance, the addition of sycamore seed oil and rosiglitazone in diets had no significant effects on production performance, slaughter performance and meat productivity (P>0.05); about adipose deposition, backfat thickness in W group was significantly higher than that in C group and L group by 12.55% and 17.23%, respectively (P<0.05). 2) About serum hormone indexes, serum contents of growth hormone (GH), glucagon (GC) and leptin (LEP) in W group were significantly higher than those in C group (P<0.05), and serum GC content in L group was significantly higher bthan that in C group(P<0.05). 3) About serum biochemical indexes, compared with C group, serum contents of high density lipoprotein cholesferol (HDL-C), low density lipoprotein cholesferol (LDL-C), total cholesterol (TC) and

---

*Corresponding author, professor, E-mail: runhouzhang@hotmail.com （责任编辑 王智航）

triglyceride (TG) were significantly increased in W group (*P*<0.05), but only serum TG content was significantly increased in L group (*P*<0.05). In conclusion, the addition of sycamore seed oil and rosiglitazone in diets had no significant effects on production performance, slaughter performance and meat productivity of sheep, but sycamore seed oil can significantly increase backfat thickness of sheep; the addition of sycamore seed oil in diet increases serum contents of GH, GC and LEP of sheep, and rosiglitazone can increases serum content of GC of sheep; serum contents of HDL-C, LDL-C, TC and TG of sheep in W group are significantly increased, and only serum TG content in L group is significantly increased.

Key words: stearoyl-CoA desaturase; sycamore seed oil; rosiglitazone; production performance; serum index; sheep